

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG TELUR SEBAGAI BIOSORBEN UNTUK ADSORPSI LOGAM Pb Dan Cd

Mamay Maslahat*, Agus Taufiq, Prima Wahyu Subagja
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Nusa Bangsa, Bogor

*e-mail: maykulum@yahoo.co.id

ABSTRACT

Waste Utilization of Eggs Shell as an Adsorbent for Adsorption of Metal, Pb and Cd

Eggshell waste is one of waste that not be fully utilized. Eggshell can be used as a biosorbent substance because its contain a high CaCO_3 and has a natural pore structure. Eggshell waste biosorbent potentially used as an alternative to adsorb heavy metal waste that pollute much in the environment. The purpose of the study was to use the waste to become biosorbent and to investigate its potential in adsorption Pb and Cd. Research methodology were producing biosorbent and getting optimum-sorption condition. They were contact time, biosorbent weights, and the concentration of Pb and Cd. Measurement of the concentration of Pb and Cd before and after sorption processes using instrument of Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Agilent 240FS type AA. The results showed that eggshell biosorbent could adsorb heavy metals of Pb 65.99% in concentration of adsorbent of 160 ppm, contact time was 20 minutes, and biosorbent weights of 0.50 g. Adsorption of Cd was 93.16% in concentration of adsorbent was 20 ppm, contact time 40 minutes, and biosorbent weights 0.25 g.

Key words: eggshell biosorbent, Pb, Cd, Atomic Absorption Spectrophotometer

ABSTRAK

Limbah cangkang telur termasuk salah satu limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai zat penyerap yang baik karena mengandung CaCO_3 yang tinggi dan memiliki struktur pori-pori alami. Limbah cangkang telur berpotensi digunakan sebagai biosorben alternatif untuk mengadsorpsi limbah logam berat yang banyak mencemari lingkungan yaitu logam berat Pb dan Cd. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan limbah cangkang telur untuk dijadikan biosorben dan meneliti potensinya dalam adsorpsi logam Pb dan Cd. Tahapan penelitian terdiri atas preparasi dan pembuatan biosorben cangkang telur, dan optimasi adsorpsi biosorben cangkang telur terhadap logam berat Pb dan Cd. Optimasi adsorpsi meliputi variabel waktu kontak optimum, bobot biosorben optimum, dan konsentrasi adsorbat optimum. Pengukuran konsentrasi logam berat Pb dan Cd sebelum dan setelah proses adsorpsi menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) Agilent tipe 240FS AA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biosorben cangkang telur dapat mengadsorpsi logam berat Pb sebesar 65,99% pada kondisi konsentrasi adsorbat 160 ppm, waktu kontak 20 menit, dan berat biosorban sebesar 0,50 gram. Sedangkan untuk logam berat Cd, persen adsorpsi sebesar 93,16% pada konsentrasi sorbat 20 ppm, waktu kontak 40 menit, dan berat biosorben sebesar 0,25 gram.

Kata Kunci: biosorben cangkang telur, Pb, Cd, *Atomic Absorption spectrophotometer*.

PENDAHULUAN

Limbah cangkang telur selama ini hanya dianggap sebagai sampah, dan belum banyak diolah secara maksimal, cangkang telur hanya dimanfaatkan sebagai pakan unggas, pupuk organik, dan baru beberapa industri kecil yang memanfaatkan limbah cangkang telur sebagai bahan baku kerajinan tangan. Cangkang telur memiliki kadar kalsium yang cukup tinggi sehingga memiliki

potensi untuk menjadi penyerap atau sorben. Selain itu cangkang telur memiliki struktur berpori dan mengandung asam protein mukopolisakarida yang dapat dikembangkan menjadi suatu adsorben. Gugus penting dalam asam protein mukopolisakarida adalah karboksil, amina, dan sulfat yang dapat mengikat ion logam membentuk suatu ikatan ionik (Surasen, 2002).

Pori-pori alami cangkang telur merupakan zat yang sangat memung-

kinkan untuk dijadikan adsorben. Lapisan spons dan *mammillary* membentuk matriks yang terbentuk dari serat-serat protein yang berikatan dengan kalsit (kalsium karbonat), mewakili 90% dari material cangkang telur. Kedua lapisan tersebut membangun bentuk pori bagi cangkang telur (Carvalho *et al.*, 2011 dalam Paramita, 2012).

Biosorben yang berasal dari limbah cangkang telur dapat digunakan untuk pengolahan limbah hasil industri, yaitu limbah logam berat. Logam berat digolongkan menjadi bahan beracun dan berbahaya (B3), karena bersifat korosif terhadap kulit, beracun, dan karsinogenik. Logam Pb dan Cd adalah logam yang banyak mencemari tanah dan perairan dengan konsentrasi yang cukup tinggi dan logam ini dapat terakumulasi dalam tubuh suatu organisme sehingga sangat berbahaya bagi kesehatan manusia (Darmono, 1995).

Biosorben didefinisikan sebagai bahan biologis yang digunakan dalam penyerapan bahan pencemar dari suatu cairan, selanjutnya melalui proses desorpsi bahan ini dapat dibuang dan lebih ramah lingkungan (Suhendrayatna, 2001).

Adsorpsi dapat dimodelkan dengan istilah isoterm yang merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terjerap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Persamaan yang biasa digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji dan dikembangkan oleh Langmuir, Freundlich, dan Brunauer, Emmet, Teller (BET).

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan yaitu oven, *crusher*, dan saringan 200 mesh. Tahap analisis yaitu AAS Hitachi Z-5000, neraca analitik, erlenmeyer 100 mL, *magnetic stirrer*, pipet volumetrik 25 mL, pipet serologi 10 mL, kertas saring, dan piala gelas 150 mL.

Bahan yang digunakan yaitu cangkang telur ayam yang dihaluskan dengan ukuran partikel 200 mesh, larutan standar Pb (2 ppm; 4 ppm; 8 ppm; 12 ppm; 16 ppm; dan 20 ppm), larutan standar Cd (0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm; 2,5 ppm; dan 5 ppm), sampel logam berat Pb (5,0 ppm; 10,0 ppm; 20,0 ppm; 40,0 ppm; 60,0 ppm; 80,0 ppm; 100,0 ppm; 120,0 ppm; 140,0 ppm; 160,0 ppm; 180,0 ppm; 200,0 ppm; dan 250,0 ppm), dan sampel logam berat Cd (2,5 ppm; 5,0 ppm; 10,0 ppm; 20,0 ppm; 40,0 ppm; 60,0 ppm; 80,0 ppm; dan 100,0 ppm).

Metode

Limbah cangkang telur dicuci dengan air mengalir sampai bersih, dan dibilas dengan aquades, kemudian dikeringkan dalam oven suhu 40°C selama 8 jam, dan ditumbuk sampai halus, kemudian disaring dengan saringan 200 mesh, selanjutnya dikeringkan pada suhu 105°C hingga bebas air.

Proses Sorpsi Biosorben Cangkang Telur Terhadap Logam Berat Pb dan Cd

Penentuan Waktu Kontak Optimum Biosorben Cangkang Telur. Sebanyak 0,25 g biosorben cangkang telur dengan ukuran partikel 200 mesh dimasukkan ke dalam 25 ml larutan limbah logam berat dengan konsentrasi 50 ppm (untuk logam Pb) dan 2,5 ppm (untuk logam Cd), kemudian larutan dikocok dengan *stirrer*. Adsorpsi dilakukan dengan ragam waktu adsorpsi 5, 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Setelah itu campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui adsorpsi maksimum. Waktu optimum ditentukan dengan menghitung kapasitas adsorpsi maksimum.

Penentuan Bobot Optimum Biosorben Cangkang Telur. Variasi bobot biosorben yang digunakan adalah 0,05; 0,10; 0,15; 0,25; 0,50; 1,00 dan 2,00 g. Masing-masing dimasukkan ke dalam 25 ml larutan limbah logam

berat dengan konsentrasi 50 ppm (untuk logam Pb) dan 2,5 ppm (untuk logam Cd), kemudian dikocok dengan *stirrer*. Campuran dikocok pada waktu optimum adsorpsi. Campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Bobot optimum ditentukan dengan menghitung kapasitas adsorpsi maksimum.

Penentuan Konsentrasi Logam Berat (sebagai adsorbat). Erlenmeyer yang berisi bobot optimum biosorben dimasukkan ke dalam 25 ml larutan limbah logam berat pada konsentrasi 5; 10; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; dan 250 ppm (untuk logam Pb) ppm 2,5; 5; 10; 20; 40; 60; 80; dan 100 ppm Untuk logam Cd), kemudian dikocok dengan *stirrer* pada waktu optimum. Setelah itu campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Kapasitas adsorpsi maksimum dari setiap variabel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{V (C_o - C_a)}{m}$$

Q = Kapasitas adsorpsi per bobot biosorben ($\mu\text{g}/\text{gram}$ *bioremoval*)

Q = Volume larutan (ml)

C_o = Konsentrasi awal (ppm)

C_a = Konsentrasi akhir (ppm)

m = Bobot biosorben (gram)

Penentuan gugus fungsi biosorben dilakukan dengan menguji sampel bubuk biosorben ukuran 200 mesh menggunakan instrumen spektrofotometer infra red.

HASIL DAN PEMBAHASAN

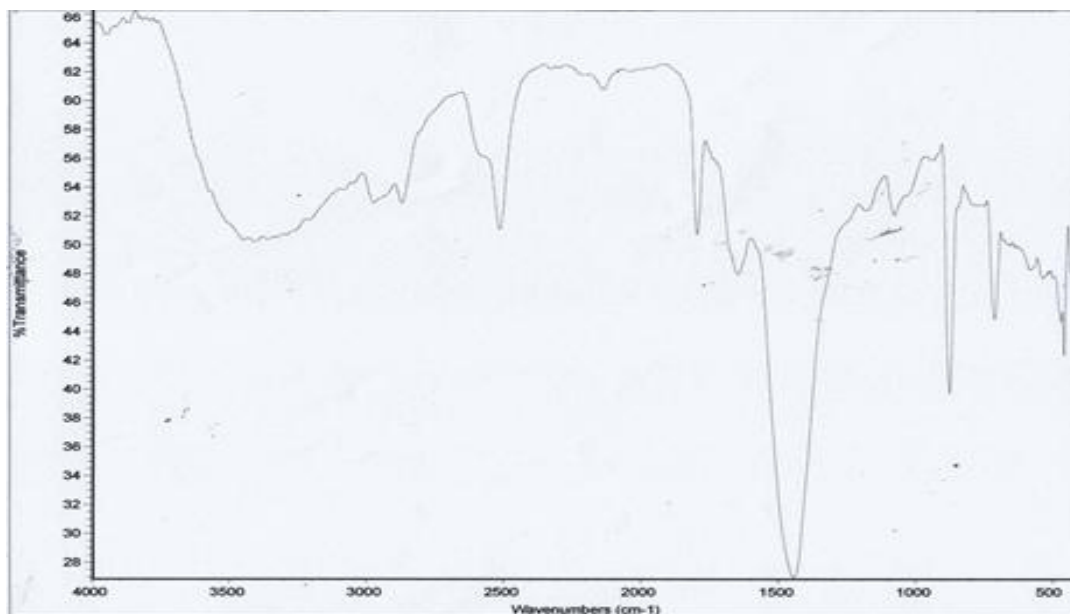
Sampel limbah cangkang telur yang diperoleh dari limbah rumah tangga dan rumah makan. Limbah cangkang telur yang digunakan merupakan limbah baru yang belum menghasilkan bau busuk. Cangkang telur yang telah dicuci bersih, kemudian dikeringkan pada suhu 40°C, kemudian ditumbuk dan disaring dengan ukuran 200 mesh, lalu diaktivasi pada

suhu 105°C selama 4 jam. Tujuan pengeringan ini adalah untuk menghilangkan molekul air yang terkandung dalam serbuk cangkang telur

Penentuan ukuran partikel dilakukan agar sampel yang digunakan seragam. Dalam proses sorpsi padatan-cairan ukuran partikel sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Ukuran pori dan luas permukaan adsorben merupakan hal yang sangat penting dalam adsorpsi. Luas permukaan adsorben dapat diperbesar dengan cara pengecilan ukuran partikelnya. Semakin kecil ukuran partikel akan memperluas permukaan biosorben sehingga ketersediaan sisi aktif biosorben akan meningkat. Bertambahnya sisi-sisi aktif dari permukaan biosorben dapat memungkinkan adsorpsi terjadi di lebih banyak tempat pada permukaan biosorben. Jumlah permukaan biosorben yang meningkat akan meningkatkan jumlah adsorbat yang terjerap. Cangkang telur memiliki lebih dari 7000-17000 mikropori. Pori-pori alami cangkang telur merupakan zat yang sangat memungkinkan untuk dijadikan adsorben. Lapisan *spon* dan *mammillary* membentuk matriks yang terbentuk dari serat-serat protein yang berikatan dengan kalsit (kalsium karbonat), mewakili 90% dari material cangkang telur. Kedua lapisan tersebut pun membangun bentuk pori bagi cangkang telur (Carvalho *et al.*, 2011).

Sisi Aktif Biosorben

Biosorben cangkang telur setelah dihaluskan dan dikeringkan kemudian dianalisis gugus aktifnya dengan menggunakan spektrofotometer infra red (IR). Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui sisi aktif dari biosorben yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian Paramita (2012) diketahui bahwa spektrum infra merah dari serbuk cangkang telur, seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum Infra Merah Serbuk Cangkang Telur.
(Sumber: Paramita, 2012)

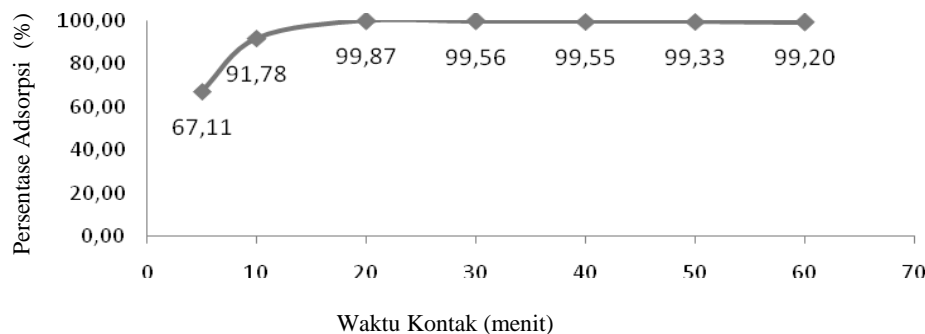
Interpretasi dari spektrum infra merah pada sampel cangkang telur ini memperlihatkan adanya puncak penyerapan yang signifikan pada $1500 - 1400 \text{ cm}^{-1}$, berasosiasi dengan kuat atas keberadaan mineral karbonat pada matriks cangkang telur. Puncak serapan pada sekitar 2500 cm^{-1} dan 1810 cm^{-1} menunjukkan keberadaan karbonil. Dan dari hasil spektrum teramati bahwa terdapat puncak serapan di sekitar 715 cm^{-1} dan 875 cm^{-1} yang masing-masing merupakan pendukung untuk keberadaan kalsium karbonat (Tsai *et al.*, 2006). Sedangkan pada $3500 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ dan 1650 cm^{-1} yang masing-masing merupakan regang $-NH$ dan $-NH-C=O$. Ini menunjukkan bahwa cangkang telur pun tersusun atas zat organik, yakni membran cangkang telur. Membran cangkang telur ini tersusun dari sejumlah material organik diantaranya kolagen, asam hianulorik, asam amino, dan polipeptida. Keberadaan struktur poros alami dan permukaan berporinya yang luas, limbah cangkang telur yang banyak mengandung kalsium mudah untuk digiling dan dihaluskan menjadi bubuk, yang kemudian dapat dimanfaatkan

sebagai adsorben yang baik yakni berupa *porous adsorbent*.

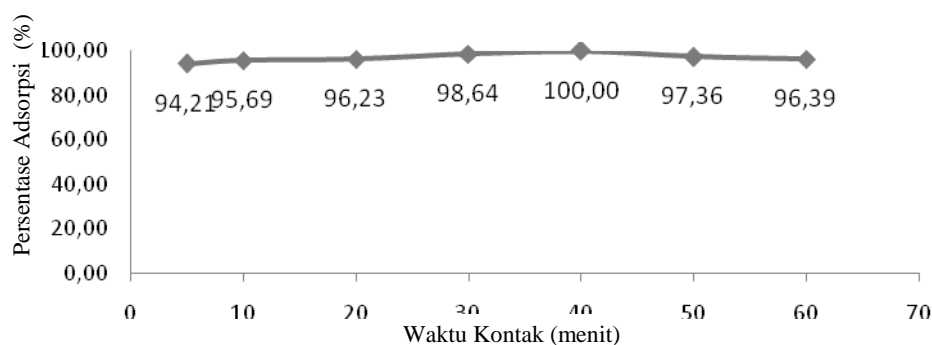
Kondisi Optimum Adsorpsi Logam Berat Oleh Biosorben Cangkang Telur Waktu Optimum

Lamanya proses adsorpsi ditentukan berdasarkan kapasitas adsorpsinya selama rentang waktu tertentu. Saat kapasitas adsorpsi mencapai nilai maksimum, maka lamanya proses adsorpsi tersebut diambil sebagai waktu optimum adsorpsi (Paramita, 2012). Penambahan waktu kontak tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pengurangan kadar Pb dan Cd dalam adsorbat.

Waktu optimum penyerapan logam berat Pb oleh biosorben cangkang telur terjadi pada menit ke 20, dengan nilai persentase adsorpsi logam Pb sebesar 99,8701% pada waktu optimum dan jumlah biosorben 0,25 g (Gambar 2). Nilai kapasitas adsorpsi semakin naik dari menit ke 5 hingga menit ke 10, dan pada menit ke 20 terjadi adsorpsi logam berat Pb maksimum. Pada menit ke 20 hingga menit ke 60 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi dengan nilai yang sangat rendah dan hampir signifikan.



Gambar 2. Waktu Optimum Adsorpsi Logam Berat Pb oleh Biosorben Cangkang Telur



Gambar 3 . Waktu Optimum Adsorpsi Logam Berat Cd oleh Biosorben Cangkang Telur

Waktu optimum penyerapan logam berat Cd oleh biosorben cangkang telur terjadi pada menit ke 40. Logam berat Cd diserap sempurna oleh biosorben cangkang telur (100%) pada waktu optimum dan jumlah biosorben 0,25 g (Gambar 3). Nilai kapasitas adsorpsi semakin naik dari menit ke 5 hingga menit ke 30, dan pada menit ke 40 terjadi adsorpsi logam berat Cd maksimum. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini terjadi karena adanya pembukaan tapak aktif yang lebih besar sehingga adsorben lebih banyak menyerap adsorbat (Lestari, 2011). Setelah mencapai waktu adsorpsi maksimum, kapasitas adsorpsi cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh jumlah biosorben yang berikatan dengan adsorbat sudah dalam keadaan jenuhnya, sehingga apabila ditambahkan waktu adsorpsi yang berlebih akan menyebabkan terjadinya proses desorpsi atau pelepasan kembali antara biosorben dan adsorbat.

Bobot Optimum

Pengaruh bobot biosorben terhadap adsorpsi logam Pb dapat dilihat pada Gambar 4. Semakin banyak bobot biosorben yang ditambahkan, persentase penyerapan akan semakin tinggi. Penambahan bobot biosorben lebih dari 0,50 gram tidak memberikan kenaikan kapasitas adsorpsi yang signifikan terhadap logam Pb, hal ini karena penambahan bobot biosorben sebanyak 0,50 gram dapat menyerap logam Pb dengan sempurna.

Pengaruh bobot biosorben terhadap adsorpsi logam Cd dapat dilihat pada Gambar 5. Kapasitas adsorpsi optimum diperoleh dengan bobot biosorben sebanyak 0,25 gram. Sama halnya dengan adsorpsi logam Pb, penambahan bobot biosorben lebih dari 0,25 gram tidak memberikan kenaikan kapasitas adsorpsi yang signifikan terhadap logam Cd, hal ini karena penambahan bobot biosorben sebanyak 0,25 gram dapat menyerap logam Cd dengan sempurna.

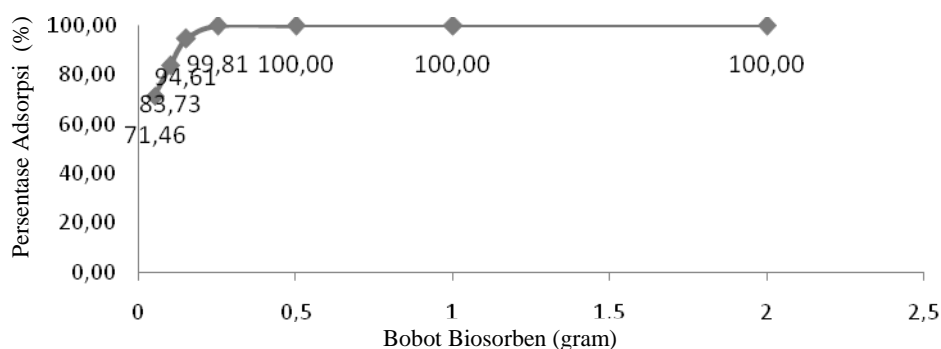
Peningkatan kapasitas adsorpsi disebabkan oleh jumlah pembukaan

tapak aktif yang lebih besar sehingga biosorben lebih banyak menyerap adsorbat dan kapasitas adsorpsi akan meningkat sampai tercapainya bobot optimum. Setelah kondisi optimum, tidak tampak terjadi penyerapan yang signifikan. Hal ini disebabkan sudah tidak ada lagi adsorbat yang dijerap sehingga penambahan biosorben sampai kondisi tertentu tidak akan memberi dampak pada peningkatan kapasitas adsorpsi. Bertambahnya berat biosorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan biosorben sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat ion logam juga bertambah dan efisiensi penyerapan pun meningkat (Refilda, 2001). Hal ini juga mengindikasikan bahwa makin banyak pori yang dimiliki oleh biosorben sehingga kecepatan adsorpsi semakin meningkat. Menurut Barros (2003), pada saat ada peningkatan bobot adsorben, maka ada peningkatan persentase penyerapan dan penurunan kapasitas adsorpsi.

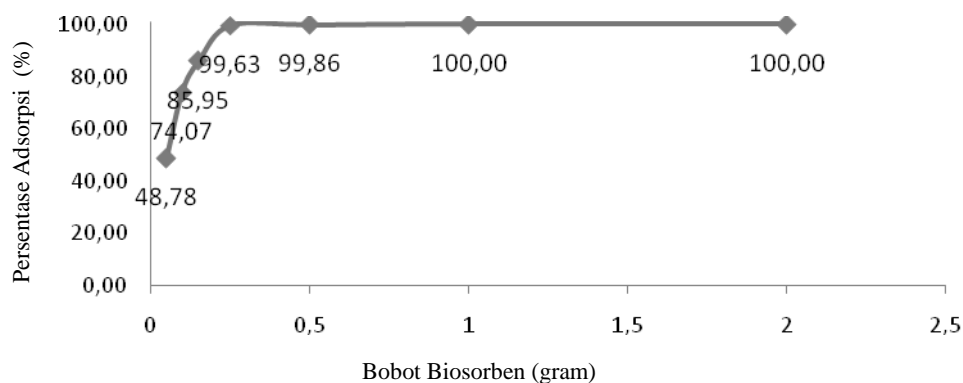
Konsetrasi Optimum

Pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap adsorpsi oleh biosorben cangkang telur dapat dilihat pada Gambar 6. Kapasitas adsorpsi optimum diperoleh pada konsentrasi logam berat Pb 160 ppm yakni sebesar 65,9859%. Penambahan konsentrasi adsorbat lebih dari 160 ppm menyebabkan kapasitas adsorpsi cenderung menurun.

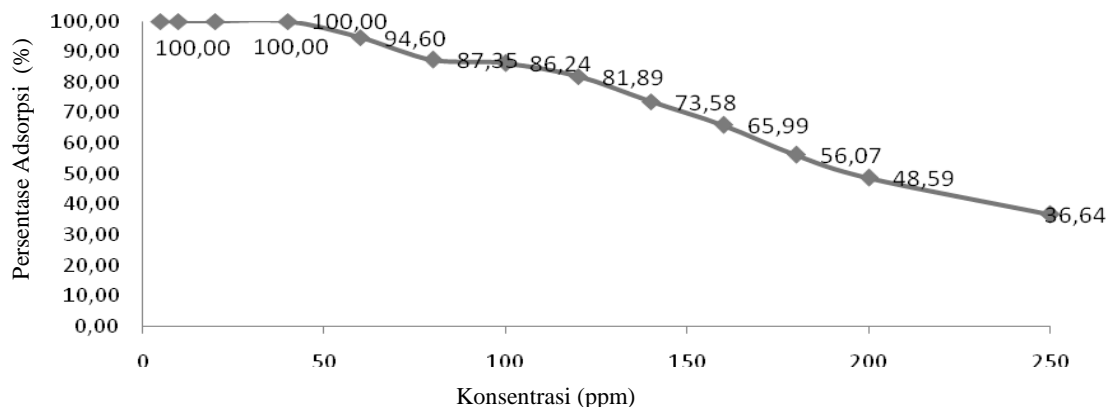
Kapasitas adsorpsi optimum pada konsentrasi logam berat Cd adalah 20 ppm yakni sebesar 93,1616 % (Gambar 7). Penambahan konsentrasi adsorbat lebih dari 20 ppm menyebabkan kapasitas adsorpsi cenderung menurun. Menurut Zou *et al.*, (2006) kecepatan adsorpsi dan kapasitas adsorben dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam dalam limbah cair. Semakin semakin besar konsentrasi menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi pada adsorben.



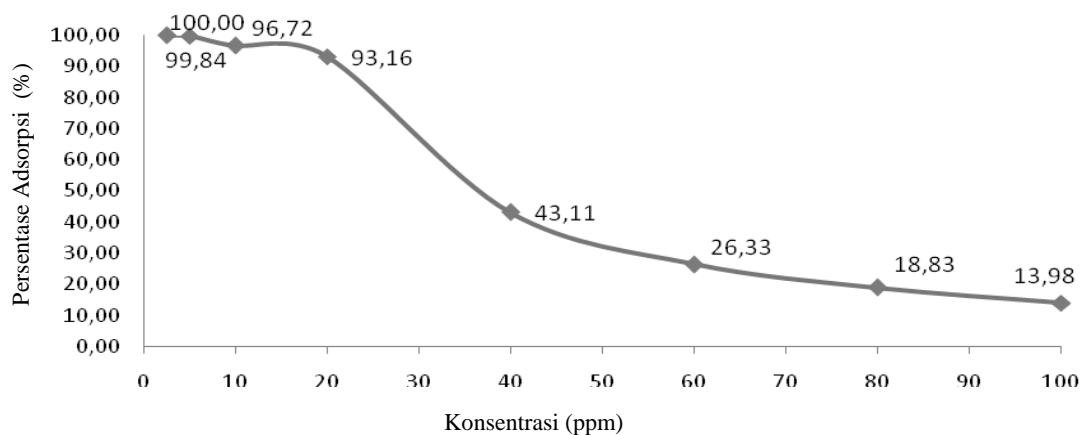
Gambar 4. Bobot Optimum Adsorpsi Logam Berat Pb oleh Biosorben Cangkang Telur



Gambar 5. Bobot Optimum Adsorpsi Logam Berat Cd oleh Biosorben Cangkang Telur



Gambar 6. Konsentrasi Optimum Logam Berat Pb oleh Biosorben Cangkang Telur



Gambar 7. Konsentrasi Optimum Logam Berat Cd oleh Biosorben Cangkang Telur

Adsorbat yang digunakan adalah larutan tunggal logam berat Pb dan Cd, hal ini merupakan simulasi dari limbah industri yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Proses adsorpsi dilakukan berdasarkan kondisi optimum masing-masing biosorben. Perlakuan pada kondisi waktu dan bobot optimum. Kapasitas adsorpsi biosorben cangkang telur dengan logam berat Pb lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi biosorben cangkang telur dengan logam berat Cd. Dimana kemampuan penyerapan optimum biosorben cangkang telur terhadap logam berat Pb terjadi pada konsentrasi 160 ppm, sedangkan kemampuan penyerapan optimum biosorben cangkang telur terhadap logam berat Cd pada konsentrasi 20 ppm.

Adsorpsi Ion Pb^{2+} dan Cd^{2+}

Ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} dipilih karena ion Pb^{2+} memiliki muatan yang sama dengan Cd^{2+} dan juga termasuk logam berat pencemar yang berbahaya. Namun ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} memiliki nomor atom, nomor massa atom relatif, periode, golongan, dan muatan inti efektif yang berbeda yang menimbulkan terjadinya kompetisi antara Pb^{2+} dan Cd^{2+} .

Biosorben cangkang telur menyerap lebih banyak ion logam Pb^{2+} dibandingkan Cd^{2+} . Hal ini karena ion logam Pb^{2+} memiliki massa molekul relatif yang lebih tinggi dibandingkan massa molekul relatif Cd^{2+} , sehingga Pb^{2+} lebih cepat jatuh (sampai) ke permukaan biosorben dan terjerap pada biosorben dibandingkan Cd^{2+} . Ion Pb^{2+} memiliki jari-jari ion yang lebih besar dari ion Cd^{2+} sehingga memiliki gaya elektrostatis yang relatif kecil dan

menyebabkan kemampuan ion Pb^{2+} menarik molekul air disekitarnya lemah. Dengan lemahnya kemampuan Pb^{2+} dalam menarik molekul air, maka jari-jari hidrasinya yang dimiliki menjadi lebih kecil dan mobilitas atau pergerakan ion Pb^{2+} dalam air makin tinggi (cepat), sehingga ion Pb^{2+} lebih mudah sampai kepermukaan adsorben. Selain itu, Pb^{2+} memiliki nomor atom lebih besar dari pada Cd^{2+} yang menunjukkan jumlah proton yang dimiliki oleh Pb^{2+} lebih besar dari pada Cd^{2+} . Jumlah proton dalam Pb^{2+} yang lebih besar dari Cd^{2+} ini mengakibatkan daya tarik inti dan muatan inti efektif yang dimiliki Pb^{2+} lebih besar sehingga akan lebih mempermudah Pb^{2+} dalam menginduksi biosorben cangkang telur yang bersifat non polar dan membentuk gaya tarik elektrostatis yang disebut gaya dipol-dipolinduksian (Lailiyahet *al.*, 2000). Biosorben cangkang telur memiliki kemampuan adsorpsi ion logam berat Pb^{2+} dan Cd^{2+} . Hal ini karena secara bentuk struktur atau bentuk topologi permukaan, biosorben cangkang telur memiliki ukuran diameter ruang kosong yang besar sehingga ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} mudah masuk dan berinteraksi ke dalam ruang kosong biosorben cangkang telur.

Pada penelitian Sugiarti dan Allo (2009), kapasitas adsorpsi logam berat oleh eceng gondok, baik dalam larutan media yang hanya ditambahkan satu logam saja Pb atau Cd maupun dalam larutan media yang ditambahkan dua jenis logam campuran Pb dan Cd, penyerapan oleh eceng gondok terhadap masing-masing logam berat Cd dan Pb relatif saling mempengaruhi, sehingga kemampuan eceng gondok menyerap larutan yang berisi logam tunggal, relatif lebih tinggi dari pada larutan yang berisi campuran logam Cd dan Pb.

KESIMPULAN

Biosorben cangkang telur dapat mengadsorpsi logam berat Pb dan Cd. Persentase adsorpsi untuk logam berat Pb sebesar 65,99% dengan konsentrasi logam berat Pb 160 ppm, waktu kontak 20 menit, dan bobot biosorben 0,50 g. Persentase adsorpsi untuk logam berat Cd sebesar 93,16% dengan konsentrasi logam berat Cd 20 ppm, waktu kontak 40 menit, dan bobot biosorben 0,25 g.

DAFTAR PUSTAKA

- Barros, L.M., G.R. Maedo, M.M.L. Duarte, E.V. Silva, dan Lobato. 2003. Biosorption of Cadmium Using the Fungus *Aspergillus Niger*. *Brazilian Journal Chemical*. 20 (3).
- Carvalho, A.F.U., D.F. Farias, C.X. Barroso, C.M.L. Sombra, A.S. Silvino, M.O.T. Menezes, M.O. Soares, D.A.O. Fernandes, dan S.T. Gouveia. 2011. *Adsorption Process onto an Innovative Eggshell-derived Low-Cost Adsorbent in Stimulated Effluent and Real Industrial Effluents. Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities*, 1st International Conference.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia Jakarta.
- Lestari, S. 2011. *Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Biosorben Fenol*. *Skripsi*. Universitas Nusa Bangsa. Bogor.
- Paramita, M. 2012. *Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Modifikasi Cangkang Telur (CT) sebagai Biosorben Fenol*. *Skripsi*. Universitas Nusa Bangsa. Bogor.

- Refilda. 2001. Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Penyerap Sintetik Logam-logam Berat Pada Air Limbah. *Skripsi*. Universitas Andalas. Padang.
- Sugiarti, dan E.L. Allo. 2009. *Pengaruh Konsentrasi Cd, Pb dan Lama Penanaman Terhadap Penyerapan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes)*. FMIPA Universitas Negeri Makasar. Makasar.
- Suhendrayatna. 2001. *Heavy Metal Bioremoval by Microorganisma Literature Study*. Bioteknologi Untuk Indonesia Abad 21.
- Surasen, C. 2002. *Removal of Cadmium in Synthetic Wastewater by Egg Shell Filter*. Tesis. Faculty of Graduate Studies, Kasetsart University. Bangkok
- Zou, W., R. Han, Z. Chen, Z. Jinghua, J. dan Shi. 2006. Kinetic Study of Adsorption of Cu(II) and Pb(II) from Aqueous Solutions Using Manganese Oxide Coated Zeolite in Batch Mode. *Journal of Colloids and Surfaces*. 279(1-3): 238-246.